

CULTIVO DEL CENTENO PARA PRODUCCIÓN DE BIOMASA CON FINES TÉRMICOS

M.D. Curt, M. Sanz, F. Mosquera, L. Romero, J. Sánchez, P.L. Aguado, J. Fernández

Grupo de Agroenergética. E.T.S. de Ingenieros Agrónomos de Madrid (UPM).

Contacto: j.fernandez@upm.es

1. CULTIVOS ENERGÉTICOS COMO ALTERNATIVA A LOS CULTIVOS ALIMENTARIOS

Durante las dos últimas décadas, el cultivo de especies vegetales para producción de energía (los denominados "cultivos energéticos"), ha sido un tema recurrente en la agricultura como posible alternativa a los cultivos tradicionales. El interés por el desarrollo de este tipo de nuevo enfoque de la agricultura (agroenergética) en la Unión Europea, y en especial en España, ha venido fundamentado por tratar de ofrecer una alternativa a la gran cantidad de tierras agrícolas no utilizadas para la producción de cultivos alimentarios. La retirada obligatoria de tierras de cultivo, para tener derecho a los incentivos que ofrecía la PAC ha sido uno de los motivos del descenso de la superficie cultivada, pero también lo ha sido, el bajo rendimiento económico que producían las tierras de la agricultura extensiva. En España, en las últimas 3 décadas, la superficie dedicada a cultivos de secano se ha reducido en cerca de 4 millones de hectáreas (Tabla I) y de las tierras que siguen consideradas como cultivos de secano, el barbecho ocupa más de 3 millones de hectáreas (Tabla II).

Además de la disponibilidad de superficies agrícolas para albergar los cultivos energéticos, el fomento de la producción de biomasa se vio apoyado por el interés creciente en acercarse al autoabastecimiento energético con fuentes de naturaleza renovable y evitar así el incremento de gases de efecto invernadero que se produce en la atmósfera como consecuencia del empleo de combustibles fósiles como fuente de energía.

Dentro del campo de los cultivos energéticos cabe hacer una separación inicial entre dos tipos de cultivos según el destino final: los destinados a la producción de biocarburantes (biodiesel y bioetanol, principalmente) y los destinados a la producción de biomasa lignocelulósica para bicomcombustibles sólidos. Los cultivos destinados a producir biomasa lignocelulósica para producción de biocombustibles sólidos

Figura 1. Espiga de centeno en antesis.



Tabla I. Variación de la superficie de cultivo de secano en España durante el período 1980-2012 (33 años).

Fuente: Anuario estadístico del MAGRAMA.

AÑO	Superficie de cultivo de secano (x1000 ha)
1980	17.676,90
1990	16.973,40
2000	14.896,50
2012	13.745,38
Variación	- 3.931,52

y su uso en la producción de electricidad o energía térmica, pueden agruparse a su vez en dos grandes grupos según la naturaleza de la biomasa producida: cultivos leñosos y herbáceos (la denominación de este tipo de cultivos ►►►

como cultivos forestales o cultivos agrícolas, aunque se ha divulgado por algunos medios, no es adecuada desde un punto de vista científico).

Los cultivos dedicados a la producción de biocarburantes (colza o girasol para biodiesel y granos de cereales para bioetanol) tuvieron un gran desarrollo en Europa, sobre todo por las subvenciones que se ofrecían hasta finales de 2012 con las exenciones del impuesto especial de hidrocarburos. En España, la baja rentabilidad actual para este tipo de producciones (se trata fundamentalmente de cultivos de secano) ha hecho que en la actualidad, la superficie de cultivos dedicados a la producción de biocarburantes sea muy escasa y sin una repercusión significativa en la actividad agrícola nacional.

Los cultivos leñosos para producción de energía están concebidos como cultivos de corta rotación (2-3 años por ciclo) con aprovechamiento de las biomásas que se producen al final de cada ciclo de cultivo, siendo las especies concebidas para esta finalidad de crecimiento rápido y facilidad de rebrote de cepa, destacando entre ellas los chopos, sauces y eucaliptus. Este tipo de cultivos requieren tierras de regadío o climas de alta pluviometría. Los cultivos lignocelulósicos herbáceos para producción de biomasa son de ciclo anual y contienen menor proporción de lignina que los leñosos (y por tanto tienen menor contenido energético por unidad de peso seco de su biomasa), pero pueden desarrollarse en tierras de secano, lo que aumenta extraordinariamente el interés por este tipo de cultivos. Los cultivos lignocelulósicos herbáceos pueden ser de un único ciclo anual, como los cereales-biomasa o de múltiples ciclos anuales como ocurre en algunos cultivos perennes como el cardo (*Cynara cardunculus* L.) o la caña común (*Arundo donax* L.).

El desarrollo de los cultivos energéticos lignocelulósicos en España ha suscitado interés en el sector agrario e industrial (principalmente en el sector eléctrico) y de hecho surgieron numerosas iniciativas públicas y privadas durante la pasada década para desarrollar este tipo de cultivos, pero la crisis económica de los últimos años junto con las disposiciones energéticas promulgadas para frenar el desarrollo de las energías renovables y entre ellas a la biomasa, ha hecho que este tipo de alternativa no haya pasado de la fase de "proyectos de investigación o de demostración".

En el presente artículo vamos a tratar del uso del centeno (*Secale cereale* L.) como cultivo para la producción de biomasa lignocelulósica por la importancia que puede representar en el uso de tierras marginales (tierras centeneras)

Tabla II. Distribución de las tierras de cultivos de secano en España en el año 2012, con indicación de la superficie dedicada a barbecho. Fuente: Anuario estadístico del MAGRAMA.

TIPO DE USO DEL SUELO	Superficie de cultivo de secano(x1000 ha)
Cultivos herbáceos	6.971,9
Barbecho herbáceos	3.181,7
Total herbáceos	10. 153,6
Cultivos leñosos	3.591,8
Total tierras de cultivo	13.745,4

Tabla III. Resultados de la evaluación potencial de biomasa integral de las distintas variedades ensayadas de centeno en las parcelas de la ETSI Agrónomos de Madrid en el año 2011. Fuente: Grupo de Agroenergética de la UPM.

Característica	Cultivar de centeno			Valor medio
	Petkus	Carotop	Fugato	
Altura media (cm)	150,00	152,00	158,00	153,33
Peso fresco (t/ha)	10,8	10,3	14,6	11,90
Humedad en base húmeda (%)	9,16	11,53%	9,02	9,90
Peso seco (t/ha)	9,8	9,2	13,3	10,77

Figura 2. Cultivo de centeno en zona fría y marginal de la provincia de Zamora.



no utilizadas para la producción de los cereales grano de la agricultura tradicional (principalmente trigo y cebada).

2. PAJA Y BIOMASA INTEGRAL DE CEREALES COMO BIOCOMBUSTIBLES

Los viabilidad técnica del uso de la paja como biocombustible para la producción de electricidad está sobradamente demostrada tanto en España como en otros países de dentro y fuera de la UE, pero el problema principal que tiene este tipo de producto es su naturaleza de residuo, lo que le da un carácter de aleatoriedad tanto en cuanto ▶▶▶

a la disponibilidad como en el precio futuro. Además, los usos alternativos como cama y alimento del ganado dependiendo de la climatología otoñal (la falta de lluvias en otoño dispara el precio de la paja), hace inviable en muchos lugares de producción cerealista, la posibilidad de instalar una central termoeléctrica basada en la paja que queda tras la cosecha del cereal, por la inseguridad en garantizar un abastecimiento permanente a lo largo de la vida de la central.

Una alternativa interesante a la paja residual de los cereales después de la cosecha del grano, es la biomasa de cereal cosechada de forma integral, es decir, las espigas junto con los tallos y hojas en el momento adecuado de máxima biomasa global, teniendo en cuenta que, desde un punto de vista energético, el contenido calórico de los granos de cereal es muy parecido al de la paja. De entre los posibles cereales a utilizar para esta finalidad destaca el centeno por su mejor aptitud para cultivarse en muchas de las tierras marginales en las que no es rentable la producción de cereales grano. La principal ventaja del centeno para la producción de biomasa, frente al resto de los cereales, es su rusticidad y su adaptación a climas fríos y a terrenos pobres y ácidos. Además, la pérdida de objetivo en el cultivo en cuanto a tener un elevado índice de cosecha (relación grano/paja) sino una alta producción de biomasa global, hace al centeno un excelente candidato para esta finalidad. Muchas variedades locales de centeno abandonadas por tener una gran proporción de paja frente al grano, aunque producían abundante cantidad de biomasa (en algunos casos los cultivos superaban 1,5 m de altura) podrían ser hoy recuperadas para esta finalidad. Otros cereales como el triticale y la avena también podrían considerarse para esta finalidad.

Entre las ventajas que tiene la biomasa producida específicamente para fines energéticos por un cultivo (en nuestro caso por el centeno) para las industrias consumidoras (plantas de producción eléctrica, por ejemplo) frente al uso de un residuo de un cultivo agroalimentario, como la paja de trigo o cebada cabe destacar:

- Se puede planificar la disponibilidad anual de biomasa con las condicionantes climáticas de cada zona y su

Tabla IV. Resultados de la caracterización de la biomasa integral de centeno cosechada en estado de grano lechoso en las experiencias del GA-UPM realizadas en los Campos de Prácticas de la ETS de Ingenieros Agrónomos de Madrid. Valores expresados en % sobre materia seca. Fuente: Grupo de Agroenergética de la UPM.

ELEMENTO	Rango de valores (% sobre m.s.)
Carbono	42,5-45,0
Nitrógeno	0,62-1,46
Hidrógeno	5,3-7,2
Azufre	0,1-0,2
Potasio	0,6-2,0
Fósforo	0,1-0,3
Cloro	0,02-0,5

Tabla V. Resultados del análisis inmediato de la biomasa integral de centeno cosechada en estado de grano lechoso en las experiencias del GA-UPM realizadas en los Campos de Prácticas de la ETS de Ingenieros Agrónomos de Madrid. Valores expresados en % sobre materia seca. Fuente: Grupo de Agroenergética de la UPM.

Determinación	Rango de valores (% sobre m.s.)
Materias volátiles (%)	71,9-77,9
Carbono Fijo (%)	19,0-21,4
Cenizas (%)	2,9-7,4

variabilidad

- Se puede estimar con bastante precisión el coste de producción y como consecuencia se puede establecer un precio de venta con antelación sin sorpresas para compradores y vendedores.

- La productividad en biomasa por ha es muy superior en el caso de biomasa integral que la que se obtiene como paja después de la cosecha de cereal.

- Se establece una relación continua entre el productor y el consumidor que favorece la seguridad en la actividad de ambos, cosa que es difícil que se dé en el caso del uso de paja residual.

- Se pueden aprovechar tierras marginales, lo que aumenta la actividad agrícola local y favorece el desarrollo de la zona en que se implante la central de utilización, creando más puestos de trabajo en toda la cadena de producción que los que se generarían con el uso de la paja después de la cosecha del grano.

- El cultivo de centeno para biomasa integral no supone ningún problema técnico para el agricultor.

3.- EL CULTIVO DE CENTENO PARA PRODUCCIÓN DE BIOMASA.

Las técnicas que se utiliza en el cultivo de centeno para la producción de biomasa son análogas a las del cultivo para la producción de grano excepto en la fase de la cosecha. En el caso del cultivo para grano la cosecha se realiza cuando el cultivo está seco, mediante cosechadora seguida de las operaciones necesarias para la recolección de la paja (empacado con o sin hilerado previo). En el caso del cultivo de cereal para obtención de la biomasa integral, la recolección se realiza desde el estado de grano lechoso hasta un poco antes del secado completo, para evitar pérdidas de biomasa en las operaciones de cosecha. La cosecha se puede realizar mediante una segadora de forraje que deja la biomasa ►►►

extendida en el suelo para que se seque, seguida de la actuación de un rastro hilerador y de una empacadora. En los casos en que la cosecha se produzca en zonas muy cálidas, se podría realizar con una máquina integral que siegue y empaque a la vez, dejando en el campo las pacas hasta que la humedad sea inferior a la exigida por la planta receptora del producto (en general inferior al 20%, aunque para humedades superiores al 12% sufre penalización en el precio).

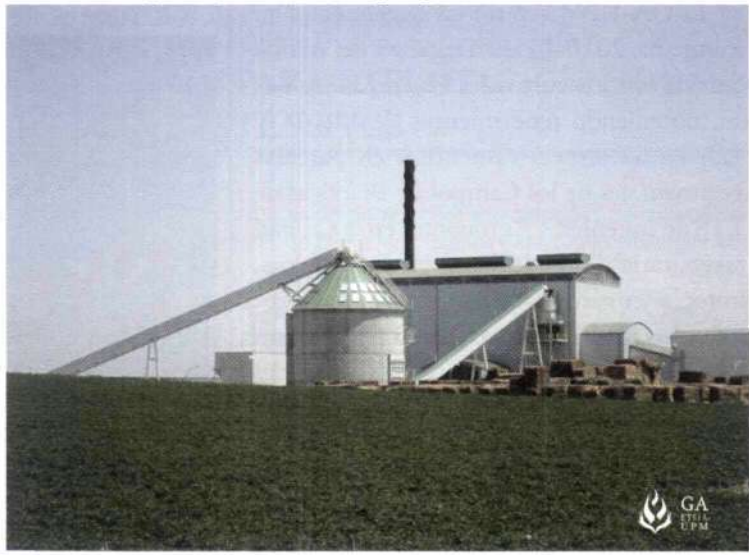
4.- EXPERIENCIAS SOBRE PRODUCCIÓN DE BIOMASA CON CENTENO

Existe experiencia internacional en la producción de biomasa con centeno tanto en Estados Unidos como en Europa, siendo de destacar los trabajos del USDA (Departamento de Agricultura de los EEUU) en Virginia (Daniel et al. 1999)¹ donde se obtuvieron producciones medias de 4.015 y 4.600 kg de ms (materia seca)/ha en las campañas 1995-95 y 1996-97 respectivamente y en Georgia (Schomberg et al. 2006)² donde se realizaron experiencias entre las campañas 1998-99, 1999-2000 y 2001-02, obteniéndose respectivamente los siguientes resultados medios: 9.397, 7.643 y 5.642 kg de ms/ha respectivamente. Entre las experiencias realizadas en Europa cabe destacar los trabajos llevados a cabo en el Instituto de Ingeniería Agrícola de Bornim en Postdam (Alemania) donde se realizaron ensayos entre los años 1994 y 1999 y se obtuvieron producciones medias anuales variables entre 8.500 y 9.400 kg de ms/ha.

En España durante el periodo 2008-2011, se realizaron experiencias para evaluar la producción de biomasa de distintos cultivos en el marco del Proyecto Singular Estratégico denominado "On-Cultivos" (www.oncultivos.es) coordinado por el CIEMAT durante el periodo 2008-2011. Experiencias de producción de biomasa con centeno se realizaron por diversos Organismos en diferentes localidades, entre las que queremos destacar las experiencias realizadas por:

* Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León (ITA-CyL) en los municipios de Cerraton de Juarros (Burgos), San Llorente (Valladolid) y Zamadueñas (Valladolid) en los que se cultivaron los cultivares (cvs.) Petkus, Bellami,

Figura 3. Planta de biomasa para producción de electricidad en Miajadas (Extremadura) propiedad de ACCIONA.



Plácido, Brasetto, Gutino, Palezzo y Gonello obteniéndose resultados diversos de productividad que variaron entre 10.035 kg/ha para el cv. Gutino en Juarros (Burgos) a 17.331 kg/ha del cv Plácido en San Llorente (Valladolid).

* Centro de Energías Renovables (CEDER) del CIEMAT en el municipio de Cabreros del Río (León), donde se ensayaron los cvs. Petkus, Gutino y Plácido, obteniéndose producciones de 7.400, 5.375 y 6.588 kg/ha respectivamente.

* El Instituto de Investigación y Tecnología Agroalimentarias (IRTA) de la Generalidad de Cataluña, en el municipio de Vilobí d'Onyar (Gerona), donde se cultivaron los cvs. Askari y Fugato, obteniéndose producciones estimadas de 13.500 y 14.500 kg/ha respectivamente.

* El Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos (CIRCE) de la Universidad de Zaragoza en el municipio de Berge (Teruel), donde se cultivaron los cvs. Brasetto, y Gutino, alcanzándose producciones estimadas de 14.693 y 7.364 kg/ha respectivamente.

* El grupo de Agroenergética de la Universidad Politécnica de Madrid (GA-UPM), que realizó ensayos en las localidades de Los Cerralbos (Toledo), Prados Redondos (Guadalajara), Villarrobledo (Albacete), Darro e Iznalloz (Granada) y en tres localidades de la Comunidad de Madrid: Daganzo de Arriba, Quijorna y Madrid, capital (Ciudad Universitaria). Se utilizaron los cvs. Carotop, Petkus y Agronom. La experiencias se realizaron durante la campaña 2009-10 obteniéndose un rendimiento medio de 4,9 t/ha para el cv Petkus, 3,96 t/ha para el cv Carotop y 5,0 t/ha para el cv. Agronom, si bien en este último la productividad media estuvo muy influenciada por la producción obtenida en Villarrobledo (8,26 t/ha), donde la siembra se realizó a razón de 200 kg/ha en lugar de los 60 >>>

1 Daniel J.B., Abaye A. O., Alley M.M., Adcock C.W., Maitland J.C. (1999).- Winter annual cover crops in a Virginia no-till cotton production system: I. Biomass production, ground cover and nitrogen assimilation. The Journal of Cotton Science; 49 (3): 399-403.

2 Schomberg H.H., Endale D.M., Calegari A., Peixoto R., Miyazawa M., Cabrera M.L. (2006).- Influence of cover crops on potential nitrogen availability to succeeding crops in a southern piedmont soil. Biol Fertil Soils; 42: 299-307.

kg/ha recomendados por la casa distribuidora de la semilla.

* El GA-UPM repitió las experiencias en la campaña 2010-11 en Daganzo de Arriba (Madrid) con los cultivares Fugato R2 y Fugato, obteniendo rendimientos de 11.617 y 9.123 kg/ha respectivamente y en parcelas experimentales de los Campos de Prácticas de la ETS de Ingenieros Agrónomos en la Ciudad Universitaria de Madrid con los cvs. Petkus, Carotop y Fugato, donde se obtuvo una productividad media estimada de 11,9 t/ha, con una humedad media aproximada del 10 %, del según se aprecia en la **Tabla III**.

5. CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS DE BIOMASA INTEGRAL DE CENTENO

La biomasa integral del cultivo de centeno empacada puede tener una humedad variable en función de la humedad del cultivo en el momento de la siega y el proceso de secado posterior. Para fines energéticos interesa tenga el menor contenido posible de humedad. Las empresas que adquieren biomasa de cereal como combustible fijan un precio en base a una humedad estándar (en general 12 %) y según sea mayor o menor la humedad de la biomasa aportada ajustan el precio a la baja o al alza respectivamente. Si la humedad supera un valor límite superior (en general el 20 %) la biomasa no es admitida como combustible.

En los trabajos experimentales realizados por el GA-UPM sobre producción de biomasa de 3 variedades de centeno, se realizaron los correspondientes análisis para su caracterización energética.

En relación al poder calorífico superior de la biomasa seca (0% de humedad) se obtuvieron valores comprendidos entre 18,3 y 18,8 MJ/kg (4.372 y 4.491 kcal/kg).

Los resultados del análisis de los elementos influyentes en las características energéticas de la biomasa de centeno, realizado sobre las distintas muestras obtenidas por el GA-UPM se indican en la **Tabla IV**, obteniéndose como valores medios 43,75 % de carbono, 1,04 % de nitrógeno, 6,25 % de hidrógeno, 0,15 % de azufre, 1,3 % de potasio, 0,2 % de fósforo y 0,26 % de cloro.

Los resultados correspondientes al análisis inmediato se indican en la **Tabla V**, obteniéndose valores medios del 74,9 % en sustancias volátiles, 20,2 % en carbono fijo y 5,15 % de cenizas.

6.- CONSIDERACIONES FINALES

El cultivo de centeno para la producción de biomasa para su uso como combustible en centrales termoeléctri-

Figura 4. Recepción y cadena de transporte (puente-grúa) de pacas de paja para producción de electricidad en la central termoeléctrica de ACCIONA en Sangüesa (Navarra).



cas es una posibilidad que se ofrece para incrementar el desarrollo agrario en las zonas en que se tome la iniciativa de implantar centrales termoeléctricas que funcionen con este tipo de biomasa. Una gran ventaja que ofrece esta alternativa es la posibilidad de utilizar tierras marginales no aptas para los cultivos tradicionales de trigo o cebada debido a la rusticidad del centeno y su buena adaptación a tierras marginales de climas fríos y suelos ácidos. Evidentemente es necesario contar con una pluviometría mínima y seleccionar la variedad adecuada, lo cual se puede conseguir con una cierta inversión en I+D para realizar experiencias a nivel local.

Desde un punto de vista económico, es interesante conocer que actualmente, después de la bajada de las primas para la electricidad producida con biomasa en virtud de las disposiciones ministeriales del pasado año (2013), el precio que se paga por la biomasa de paja de cereal en las plantas que funcionan, oscilan entre 50 y 70 €/t, para una humedad de referencia del 12 %, dependiendo la variación del precio de la época de suministro, y de diversas circunstancias que condicionan las necesidades puntuales de aprovisionamiento de la central.

Suponiendo que se obtenga una producción media de 10 t/ha de biomasa con el 12 % de humedad, los ingresos brutos por la biomasa vendida en la central oscilarían entre los 500 y 700 €/ha, lo que puede servir para determinar el interés por este tipo de cultivo en base a los costes de producción por ha de cada agricultor (en general, inferiores al coste de los cereales grano tradicionales) y el coste del transporte, que dependerá en bastante medida de la distancia de la central termoeléctrica a los campos de cultivo.